

UDC 71

SCOPUS CODE 1801

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-4-46-54>

ურბანული სისტემის ოპტიმალური დაგეგმარებისა და მართვისათვის

ნინო იმნაძე	არქიტექტურული გეგმარებისა და ურბანისტიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68° E-mail: n.imnadze@gtu.ge
ელეუჯა კურცხალია	ინტერდისციპლინური ინფორმატიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 77 E-mail: e.kurtskhalia@gtu.ge
ოთარ მჭედლიშვილი	არქიტექტურული გეგმარებისა და ურბანისტიკის დეპარტამენტი, საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი, საქართველო, 0160, თბილისი, მ. კოსტავას 68° E-mail: otar.mtchedlishvili@gmail.com

რეცენზენტები:

მ. ახობაძე, სტუ-ის ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: m.akhobadze@gtu.ge

თ. ჭანტურია, სტუ-ის არქიტექტურის, ურბანისტიკისა და დიზაინის ფაკულტეტის პროფესორი

E-mail: chanturiatamar06@gtu.ge

ანოტაცია. ურბანული პროცესების მათემატიკური მოდელირება, სისტემური დაგეგმვა და მიწათმოწყობა მეტად აქტუალური საკითხია. ტრადიციულად აღნიშნული საკითხების გადაწყვეტა ხორციელდება სუბიექტურად შერჩეული მეთოდოლოგიით. ასეთ შემთხვევაში არაერთი საკითხი და მონაცემი როგორც წესი, უგულებელყოფილია და მორგებულია წინასწარ განსაზღვრულ შედეგზე, რასაც მივყავართ ურბანული ქსოვილის სტრუქტურული

ერთიანობის რღვევამდე. წარმოდგენილ ნაშრომში, შემუშავებულია ახალი მეთოდი და ალგორითმი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ ურბანული „შეუსაბამობები“ - როგორც ურბანული დიზაინის, ისე სოციალურ-ეკონომიკური და საერთოდ ნებისმიერი საკითხის მიმართ, რომლებიც ბმავს ქალაქგეგმარებასა და მართვასთან.

საკვანძო სიტყვები: ვორონოის დიაგრამა; მოდელირება; ქალაქგეგმარება.

შესავალი

ურბანული პროცესების მათემატიკური მოდე-
ლირებისა და დაგეგმვის მეთოდოლოგია იმთავითვე გან-
საზღვრავს საერთო ამოცანის გადაჭრის სისწორეს.
საკითხის მნიშვნელობა განსაკუთრებულია, რადგან
ქალაქგეგმარება კომპლექსური დარგია და მოიცავს
ისეთ საკითხებს, როგორებიცაა:

- საკადასტრო საზღვრები;
- მიწის ნაკვეთების ფართობები და მათი წვდო-
მა სატრანსპორტო ინფრასტრუქტურასთან;
- ადგილის ტოპოგრაფიული თავისებურებები –
რელიეფი და ლანდშაფტის მრავალფეროვნება;
- ქალაქის ტოპოგრაფია – საქალაქო სტრუქტუ-
რა და სატრანსპორტო დერეფნების თავისებუ-
რებები;
- განაშენიანების სახეები, მათი პარამეტრები და
სამომხმარებლო დატვირთვები.

ტრადიციული მეთოდოლოგიით ამ მონაცემების
დამუშავება ხდება სპეციალისტის მიერ, მის მიერვე
შერჩეული (ხშირ შემთხვევაში სუბიექტური) მეთო-
დოლოგიით, ასეთ შემთხვევაში არაერთი საკითხი,
როგორც წესი, ამოღებულია კვლევიდან და მონა-
ცემები მორგებულია წინასწარ განსაზღვრულ შე-
დეგზე. ამრიგად, ურბანული პროექტები ხშირად
განწირულია და შედეგებს მიყვავართ ფასადურო-
ბამდე, ჯენტრიფიკაციის მწვავე გამოვლინებამდე,
სტრუქტურული ერთიანობის რღვევამდე, და ა.შ.

ტრადიციული მეთოდოლოგიით მონაცემების
დამუშავება ხდება ინტერაქტიულ რუკებზეც, რაც
ბოლო წლებისთვის ახალია, თუმცა ფართობრივი
ლაქების, ზონირებისა და მასთან მიმართებით არსე-
ბული ტექნიკური მონაცემების შეყვანა პროგრამაში
ხდება ხელით.

შეიძლება ითქვას, რომ ფაქტობრივად, ასეთი
ხერხით შედგენილი რუკების ინტერაქტიულობა
მხოლოდ სხვადასხვა თემატიკის ჩართვა-გამორთვაა
– გარკვეულ ლოკაციაზე სხვადასხვა თემატური
ზონირების შესახებ ინფორმაციის მიღებაა. ამიტომ
ასეთი რუკები „მულტითემატური“ უფროა, ვიდრე
„ინტერაქტიული“. მათი ფუნქცია ჩვენთვის საინტე-
რესო ლოკაციაზე იმის ჩვენებაა, თუ რა ზონა და შემ-
ზღუდავი რეჟიმი ვრცელდება მასზე. ასევე მათზე
დატანილია სხვა საინტერესო ინფორმაციები, ისე-
თი, როგორცაა სკოლებისა და საბავშვო ბაღების,
ასევე ბიზნესობიექტების ადგილმდებარეობა, გზე-
ბი, შენობების კონტურები და ა.შ.

ასეთი სახის რუკის უარყოფითი მხარე ისაა, რომ
ხელითაა შექმნილი და შემადგენელი ნაწილების პა-
რამეტრები მასში გაწერილი არ არის, რაც ამ ნაწილე-
ბის ურთიერთობების ინტერაქტიული ანალიზის
საშუალებას არ იძლევა.

ცხადია, რომ არაერთი ურბანული პარამეტრის
გაუთვალისწინებლობა (ან მათი გაერთიანება), ობი-
ექტისთვის კლასიფიცირების არარსებობა, უამრავ
გადაულახავ პრობლემას ქმნის, როგორც წინასაპ-
როექტო ურბანულ კვლევებში, ისე დაგეგმარების
პროცესებში. პირველ შემთხვევაში ჩვენ არ გვაქვს ის
ზუსტი მონაცემები, რომლებიც კვლევისთვის საჭი-
როა, ხოლო მეორე შემთხვევაში დასაგეგმარებელი
ობიექტის სიმძლავრე/დატვირთვა უაღრესად ძნელი
გამოსათვლელია. ამიტომ, ერთია, ჩვენ გავაკეთოთ
ინტერაქტიული რუკები, რომლებიც აგვარიდებს
დაგეგმარების პროცესში შეუსაბამობებს, მაგრამ მეო-
რეა, გვქონდეს გარკვეული დასაყრდენი მონაცე-
მების ბაზა, რის მიხედვითაც შევძლებთ არსებული
ობიექტებისთვის გარკვეული სიმძლავრის/დატ-

ვითვის კოეფიციენტის მინიჭებას და ასევე დასაპროექტებელი ობიექტის საპროექტო სიმძლავრის/დატვირთვის გამოთვლას, იქნება ეს სატრანსპორტო, სიმჭიდროვის, მომსახურების თუ სხვა სექტორების მიმართ. ობიექტების სიმძლავრების დადგენა განისაზღვრება ობიექტების კლასიფიკაციის, სიდიდის და გამოყენების მიხედვით, მაგალითად, ობიექტი საცხოვრებელია, მომსახურების სფეროს განეკუთვნება, საწარმოა, რეკრეაციული ზონაა, ინფრასტრუქტურულია თუ სხვა.

ძირითადი ნაწილი

ინტეგრირებულ ვებპლატფორმაში ჩაშენებული ქალაქის მათემატიკური მოდელი აერთიანებს [2] ქალაქის ობიექტების ფუნქციურ, სტრუქტურულ, ურთიერთმიმართებით კავშირებს და ქალაქში მიმდინარე დინამიკური პროცესების ამსახველ იმიტაციურ მოდელებს, რაც შესაძლებლობას ქმნის ერთ სივრცეში მოექცეს ქალაქის მართვის სისტემები, ქალაქგეგმარების, ქალაქგანვითარების და ქალაქთმშენებლობის მიმართულებები. იგი ასახავს, ქალაქში არსებული ყველა ობიექტის და მიმდინარე პროცესების მახასიათებლებს. ქალაქის ობიექტებს (მცხოვრებთა სხვადასხვა სოციალური ჯგუფის სიმრავლე (P); ადამიანთა ინტერესების სიმრავლე (A); შენობათა სიმრავლე (B); ქუჩების სიმრავლე (S) და სხვ.) შორის მიმართებების არსებობის თვალსაჩინოდ ჩვენებისა და სტრუქტურული მახასიათებლების ანალიზისათვის, ვსარგებლობთ ალგებრული ტოპოლოგიის, q -ანალიზის მეთოდით [1]; [3]; [5].

ქალაქის სტრუქტურა, რომელზედაც ვითარდება სხვადასხვა დინამიკური პროცესი, არის მათემატიკურ მიმართებათა $A = \{\lambda, \mu, \dots\}$ სიმრავლე, რომლე-

ბიც არსებობს ამ A, B, S, P, \dots სიმრავლეთა (ობიექტთა) შორის.

λ, μ, \dots მიმართებების ცოდნა საშუალებას გვაძლევს აღმოვაჩინოთ სტრუქტურული ბმა მათ შორის და თვალი ვადევნოთ სხვადასხვა ფუნქციური დანიშნულების ობიექტებს შორის ბმის გრძელ ჯაჭვში განვითარებულ მოვლენებს სივრცე-დროით ჭრილში. მაგალითად, როგორ იმოქმედებს ქმედებანი მომსახურების სფეროს ობიექტებში ინფრასტრუქტურაზე, სატრანსპორტო ქსელის გამტარუნარიანობაზე, დემოგრაფიულ სურათზე, ეკოლოგიურ მდგომარეობაზე და სხვა.

ურბანული პოტენციალები და მათი დატვირთვის განსაზღვრის მეთოდოლოგია: ურბანული ქსოვილის დაგეგმარებისას, სივრცის ასახვისა და მისი შემდგომი ანალიზის პროცესის წარმართვის მიზნით შევიმუშავეთ ობიექტების ურბანული პოტენციალები – მათი რესურსი, უპასუხონ სამომხმარებლო მოთხოვნებს. რაც უფრო დიდი პოტენციალის მატარებელია ობიექტი, იცვლება მის მიმართ დაგეგმარების პირობები. ჩვენი მიზანია, გეგმაზე ამ პოტენციალების დატანა და დაგეგმარების პროცესში მათი გათვალისწინება. ეს საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ ურბანული „შეუსაბამოები“ - როგორც ურბანული დიზაინის, ისე სოციალურ-ეკონომიკური და საერთოდ ნებისმიერი საკითხის მიმართ, რომლებიც ბმაში არიან ქალაქგეგმარებასთან.

ჩვენ მიერ შექმნილ მათემატიკურ მოდელში, თითოეული ობიექტის U_i პოტენციალი ვექტორული სიდიდეა – $U_i(u_{i1}, u_{i2}, \dots, u_{im})$, რომლის რიცხვითი მნიშვნელობა განისაზღვრება აღნიშნული ვექტორის მდგენელების ადიტიური ჯამით. აქედან გამომდინარე, თითოეული ობიექტი წარმოადგენს

სიმპლექსს. განსახილველი რეგიონი კი სიმპლიციალურ კომპლექსს. შესაბამისად, *q*-ანალიზის მეთოდის საფუძველზე ვადგენთ განსახილველი რეგიონის ობიექტთა ურთიერთკავშირს, რაც საშუალებას გვაძლევს, ოპტიმალურად, ეკონომიკურად განვახორციელოთ ზონირება და გავიყვანოთ კომუნიკაციები და გზები.

ობიექტის პოტენციალის განსაზღვრა შესაძლებელია ორი გზით – ექსპერტთა მიერ და ანალიზურად, მოხმარებული გაზის, წყლის, მომუშავეთა რაოდენობით, სატრანსპორტო საშუალებების რაოდენობით და სხვ. ქვემოთ განხილულია ობიექტის პოტენციალის განსაზღვრის ორივე მეთოდი, როდესაც *ობიექტთა პოტენცილები განხილულია ექსპერტთა მიერ*. ქვემოთ წარმოდგენილი ცხრილები, სადაც განხილულია რამდენიმე ფუნქციური დატვირთვის ურბანული ობიექტის პოტენციალების განსაზღვრება, საშუალებას იძლევა თვალსაჩინო გაგხადოთ ამ პარამეტრების შერჩევის მეთოდოლოგია.

ცხრილი 1

მომსახურების ობიექტები		
ობიექტი	პოტენციალის განსაზღვრა	
	მოცულობა / დატვირთვა	სიმძლავრე
სავაჭრო		
საცალო ვაჭრობა	მცირე მარკეტები, ჯიხურები, გარე ვაჭრობის ობიექტები	1
ქსელური საშუალო მაღაზია და სუპერმარკეტი	ნებისმიერი სავაჭრო ობიექტი, რომლის ფართობი > 30 კვ.მ	2
მოლეები და მსხვილი სავაჭრო ცენტრები	ჯამი, თითო მაღაზიაზე <100 კვ.მ	1
	ჯამი, თითო მაღაზიაზე >100 კვ.მ	2
საოფისე		
მცირე ცალკეული ოფისები	რომლის ფართობი < 40 კვ.მ	1
დისტანციური მუშაობის რეჟიმის ოფისები	რომლის ფართობი < 100 კვ.მ	1
საშუალო დატვირთვის ოფისები	რომლის ფართობია 40 – 200 კვ.მ	2
საოფისე შენობები	ჯამი, ყოველ 100 კვ. მ-ზე	1

გაგრძელება

საწარმო		
მცირე, დაბალი საფრთხის შემცველი საწარმო	რომლის ფართობი < 200 კვ.მ	1
დიდი, დაბალი საფრთხის შემცველი საწარმო	რომლის ფართობი > 200 კვ.მ, ჯამი, ყოველ 200 კვ.მ-ზე	1
მცირე, მაღალი საფრთხის შემცველი საწარმო	რომლის ფართობი < 200 კვ.მ	2
დიდი, მაღალი საფრთხის შემცველი საწარმო	რომლის ფართობი > 200 კვ.მ, ჯამი, ყოველ 200 კვ.მ-ზე	2

ვორონოის [7] დიაგრამის გამოყენება ქალაქგეგმარებაში ტრადიციულად მხოლოდ იმ მიზნით ხდება, რომ დადგინდეს გარკვეული ობიექტების განფენილობის შემთხვევაში, რუკაზე, რაიმე ობიექტი (წერტილი), რომელ ანალოგიურ ობიექტთან (წერტილთან) უფრო ახლოსაა. მაგალითად, გავიგოთ, რომელი გაჩერება არის ჩვენგან ყველაზე ახლოს ან რომელი ფილიალიდან იქნება ყველაზე მოსახერხებელი ჩვენთვის სასურველი პროდუქტის შეკვეთა. ობიექტთა შესახებ პოტენციური სიმძლავრის დამატებისას, ტრადიციულ ვორონოის სქემას ემატება პოტენციური სქემა, რის შემდეგაც ვორონოის მოდიფიცირებული მეთოდი, დამატებით იძენს ოპტიმალური დაგეგმარების ფუნქციასაც [6].

ბუნებრივია, რეალურ სიტუაციებში, განსხვავებულ წერტილებს შესაძლებელია ჰქონდეთ განსხვავებული პოტენციალები. ამიტომ, უდავოდ საინტერესოა პასუხი შემდეგ კითხვაზე: როგორ ავსოთ „დაფარვის არეები“ (როგორ ავსოთ ვორონოის ტიპის დიაგრამა) იმ შემთხვევაში, როცა განსხვავებულ

წერტილებს შესაძლოა ჰქონდეთ განსხვავებული პოტენციალები (წონები).

ნაშრომში [6] მოცემულია ახალი მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შევქმნათ ქალაქის საკომუნიკაციო ქსელის ოპტიმალური ტოპოლოგია. ნაჩვენებია, რომ ნებისმიერი A, B ობიექტების „დაფარვის არეები“ განისაზღვრება მათი სიმძლავრეებით (იხ. ცხრილი 1, ან გამოითვლება (1) გამოსახულებით). დაფარვის არეები წარმოადგენს წრის ნაწილებს, რომელთა პარამეტრები განისაზღვრება A და B ობიექტებს შორის მანძილით – a და პარამეტრით $k_{ab} = p_a / p_b$ (სადაც p_a / p_b – შესაბამისად, A და B ობიექტების სიმძლავრეებია)

ვთქვათ $\{S_1; S_2; \dots; S_n\}$ არის განსახილველი რეგიონის (ურბანული ქსოვილის) ობიექტთა სიმრავლე, ხოლო $\{P_1; P_2; \dots; P_m\}$ განსახილველი ობიექტების ყველა შესაძლო მახასიათებელი პარამეტრების სიმრავლე. λ_{ij} აღნიშნავდეს შესაბამისი ინციდენტურობის მატრიცის i -ური სტრიქონისა და j -ური სვეტის გადაკვეთაზე მდგომ ელემენტს:

$$\lambda_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{თუ } S_i \text{ ობიექტის ერთ-ერთი მახასიათებელი პარამეტრია } P_j, \\ 0, & \text{თუ } P_j \text{ არაა } S_i \text{ ობიექტის მახასიათებელი პარამეტრი.} \end{cases}$$

ჩვენ მიერ შექმნილ ალგორითმში, თითოეული ობიექტის U_i პოტენციალი ვექტორული სიდიდეა $U_i(u_{i1}; u; \dots; u_{im})$, რომლის თითოეული კოორდინატის რიცხვითი მნიშვნელობა გამოითვლება ფორმულით:

$$u_{ij} = \lambda_{ij} \cdot \frac{m_{ij}}{\sum_{k=1}^m m_{ik}}$$

სადაც m_{ij} აღნიშნავს S_i ობიექტის სიმძლავრეს P_j მახასიათებელი პარამეტრის მიმართ. ობიექტის ჯამური პოტენციალის რიცხვითი მნიშვნელობა (მოდული) განისაზღვრება აღნიშნული ვექტორის კოორდინატების საშუალებით, როგორც ვექტორის სიგრძე

$$|U_i| = \sqrt{(u_{ij})^2}$$

თითოეული ობიექტი წარმოადგენს სიმპლექსს, განსახილველი რეგიონი კი – სიმპლიციალურ კომპლექსს [1]. შესაბამისად, q -ანალიზის მეთოდის საფუძველზე ვადგენთ განსახილველი რეგიონის ობიექტთა ურთიერთკავშირს, რაც საშუალებას გვაძლევს, ოპტიმალურად, ეკონომიკურად განვახორციელოთ ზონირება, გავიყვანოთ კომუნიკაციები და გზები.

მოვიყვანოთ მარტივი მაგალითი.

ვთქვათ $A = \{A_1, A_2, \dots, A_n\}$ აღნიშნავს განსახილველ რეგიონში ასაგები ობიექტების სიმრავლეს, ხოლო $P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$ ამ ობიექტის ფუნქციონირებისათვის მახასიათებელი პარამეტრების (მაგალითად, წყალი, დენი გაზი, ავტოსადგომები და სხვა) სიმრავლეს.

განვიხილავთ მაგალითს, როცა A და P სიმრავლების ელემენტებს შორის არსებული მიმართების შესაბამის ინციდენტურობის მატრიცას აქვს სახე:

$$\Lambda = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$\Lambda \cdot \Lambda^T$: მატრიცების ნამრავლისათვის გვექნება

$$\Lambda \cdot \Lambda^T = \begin{pmatrix} 4 & 3 & 3 & 2 & 3 \\ 3 & 5 & 4 & 3 & 3 \\ 3 & 4 & 5 & 3 & 3 \\ 2 & 3 & 3 & 6 & 4 \\ 3 & 3 & 3 & 4 & 6 \end{pmatrix}$$

$\Lambda \cdot \Lambda^T$ მატრიცის c_{ii} ელემენტი გვიჩვენებს A მატრიცის A_i ელემენტის მახასიათებელი პარამეტრების რიცხვს, c_{ij} ($i \neq j$) ელემენტი კი გვიჩვენებს რამდენი საერთო მახასიათებელი პარამეტრი აქვს A_i და A_j ელემენტებს.

განვიხილავთ $\Lambda \Lambda^T - \Omega$ მატრიცას, სადაც Ω არის $n \times n$ მატრიცა რომლის ყველა ელემენტი 1-ის ტოლია. რადგანაც $\Lambda \Lambda^T - \Omega$ სიმეტრიული მატრიცაა, ამიტომ, შეგვიძლია დავწეროთ

$$\Lambda \Lambda^T - \Omega = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 2 & 1 & 2 \\ 2 & 4 & 3 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 4 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 5 & 3 \\ 2 & 2 & 2 & 3 & 5 \end{pmatrix}$$

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, A სიმრავლის ყოველი A_i ელემენტი შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც სიმპლექსი, რომლის წვეროებია P სიმრავლის ის ელემენტები, რომლებიც მიმართებაშია A_i -თან. მაგალითად, ჩვენ მიერ განხილული მიმართებისათვის, რომლის შესაბამისი ინციდენტობის მატრიცაა Λ , გვექნება:

$$A_1 = \{P_1; P_5; P_6; P_7\}$$

$$A_2 = \{P_1; P_2; P_5; P_6; P_8\}$$

$\Lambda \Lambda^T - \Omega$ მატრიცის დიაგონალის ელემენტები გვიჩვენებს A_1, A_2, \dots, A_n ელემენტების, როგორც სიმპლექსების, განზომილებას, ხოლო i -ური სტრიქონისა და j -ური სვეტების გადაკვეთაზე მდგომი

ელემენტები გვიჩვენებს A_i და A_j სიმპლექსების საერთო წახნაგის განზომილებას [4].

ვთქვათ q აღნიშნავს λ მიმართების შესაბამისი კომპლექსის განზომილებას – (A_1, A_2, \dots, A_n) სიმპლექსების განზომილებებს შორის უდიდესს – ყოველი k -თვის, $0 \leq k \leq q$, განვიხილავთ იმ a_i სიმპლექსებს, რომელთა განზომილება $\geq k$. განხილული სიმპლექსების სიმრავლეს ვყოფთ ქვესიმრავლებად (ეკვივალენტობის კლასებად) შემდეგი წესით: ორი A_i და A_j სიმპლექსი ეკუთვნის ერთსა და იმავე ეკვივალენტობის კლასს მაშინ და მხოლოდ მაშინ, როცა მათი საერთო წახნაგის განზომილება არაა ნაკლები k -ზე ან თუ არსებობს სიმპლექსების რაიმე მიმდევრობა, რომლის პირველი წევრი არის A_i სიმპლექსი, ბოლო წევრი A_j სიმპლექსი, ამასთანავე, ამ მიმდევრობის ნებისმიერი ორი ერთმანეთის მომდევნო წევრის საერთო წახნაგის განზომილება არაა ნაკლები k -ზე. Q_k აღნიშნავს ეკვივალენტობის კლასების რიცხვს.

$Q = (Q_q, Q_{q-1}, \dots, Q_2; Q_1; Q_0)$ ვექტორს ეწოდება მოცემული მიმართების (მოცემული კომპლექსის) სტრუქტურის ვექტორი.

მოცემული მიმართების შესაბამისი სტრუქტურის ვექტორია $Q = (2, 4, 3, 1, 1, 1)$.

$Q_5 = 2$ – განზომილებიან სიმპლექსთა სიმრავლე იყოფა ორ, $\{A_4\}$ და $\{A_5\}$ ერთელემენტოვან ეკვივალენტობის კლასად;

$Q_4 = 4$ – იმ სიმპლექსთა სიმრავლე, რომელთა განზომილება ≥ 4 , იყოფა ოთხ, ერთელემენტოვან ეკვივალენტობის კლასად – $\{A_2\}$, $\{A_3\}$, $\{A_4\}$, $\{A_5\}$;

$Q_3 = 3$ – იმ სიმპლექსთა სიმრავლე, რომელთა განზომილება ≥ 3 (ჩვენ მიერ განხილულ მაგალითში

ასეთია ყოველი სიმპლექსი), იყოფა სამ ეკვივალენტობის კლასად: $\{A_1\}$; $\{A_2, A_3\}$; $\{A_4, A_5\}$;

$Q_2 = Q_1 = Q_0 = 1$ – ნებისმიერი ორი სიმპლექსი ამ დონეზე არის ბმული და გვაქვს მხოლოდ ერთი ეკვივალენტობის კლასი.

თუ ვაპროექტებთ ახალ რაიონს, სადაც უნდა განთავსდეს A_1, A_2, \dots, A_n ობიექტები, მაშინ, Q ვექტორის სტრუქტურიდან გამომდინარე, შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ მიზანშეწონილი იქნება A_2 და A_3 ობიექტები განთავსდეს ერთმანეთის მეზობლად, ასევე ერთმანეთის მეზობლად განთავსდეს A_4 და A_5 ობიექტები.

როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ვორონოის დიაგრამის გამოყენება ქალაქგეგმარებაში ტრადიციულად მხოლოდ იმ მიზნით ხდება, რომ დადგინდეს გარკვეული ობიექტების განფენილობის შემთხვევაში, რუკაზე რაიმე წერტილი რომელ მათგანთან უფრო ახლოსაა. აღნიშნული მეთოდით სარგებლობისას შესაძლებელია გავიგოთ, რომელი გაჩერება არის ჩვენგან ყველაზე ახლოს ან რომელი ფილიალიდან იქნება ყველაზე მოსახერხებელი ჩვენთვის სასურველი პროდუქტის შეკვეთა.

დასკვნა

ჩვენ მიერ შემუშავებული მეთოდოლოგიით, ქალაქგეგმარების პროცესში, ახალი ტიპის მეპინგს დავუდეთ საფუძველი, რომელიც ნოვატორულია და მოითხოვს სპეციფიკურ გაშიფვრას. კერძოდ, ურბანული ობიექტების პოტენციალების რუკაზე დატანის შემდეგ შექმნილ გამოსახულებაში შევნიშნავთ დატვირთვების სიმჭიდროვეს და მათი მიზიდვისუნარიანობის ველებს, რუკაზე თვალნათლივ წარმოჩნდება ის ტერიტორიები, რომლებ-

ზეც სხვადასხვა ტიპის გამოყენებისათვის დატვირთვა მოჭარბებითაა ან მათი ნაკლებობა გვაქვს. ასეთი ტიპის რუკის წარმოქმნაში ჩვენ არა მხოლოდ სიბრტყეზე წერტილთა / ობიექტთა გავლენის სფეროების წარმოჩენა შეგვიძლია, არამედ – ისეთი დეტალების გათვალისწინება, როგორცაა: ადგილის ტოპოგრაფიული თავისებურებები, განაშენიანების სახეები და მათი პარამეტრები, საკადასტრო საზღვრები. ეს ცვლადები, რასაკვირველია, ცვლილებას შეიტანს ობიექტთა გავლენის გავრცელების არელების დადგენისას და მოგვცემს რეალურთან მაქსიმალურად ახლოს მყოფ სურათს. ამრიგად, უფრო რელევანტური იქნება დავადგინოთ ობიექტთა სამომხმარებლო დატვირთვის ველები, მათი წვდომის შესაძლებლობა სხვადასხვა ურბანული ადგილიდან და გამოვკვეთოთ რომელიმე ფუნქციის არსებობის საჭიროება დატვირთვების გაანგარიშებით ურბანული მოცემულობის მიხედვით. აღ-

ნიშნული საწყისი ინფორმაციის საფუძველზე ხდება გათვლილი საპროექტო პარამეტრების, მონაცემების წარმოდგენა როგორც ცხრილების ასევე გეომარებითი ნახაზის სახით.

ამ მეთოდოლოგიის მთავარი დადებითი მხარე არის ის, რომ პროგრამულად იქნება გამორიცხული ურბანული შეუსაბამობები, ხოლო რეალური, არსებული სიტუაციის შესწავლისას, მათი იდენტიფიკაცია იქნება შესაძლებელი. მაგალითისთვის შესაძლებელია მოვიყვანოთ სამრეწველო ზონები, რომლის მავნე ზეგავლენის ასარიდებლად საჭიროა სანიტარიული ზონების დატანა მასსა და საცხოვრებელ ტერიტორიებს შორის. პროგრამის საშუალებით მარტივად დათვლადია მავნე ზეგავლენის რაოდენობრივი მხარე და, შესაბამისად, გათვალისწინებული იქნება სანიტარიული ზონის მოცულობა და დაშორება საცხოვრებელი ტერიტორიებიდან.

ლიტერატურა

1. Atkin, R.H. (1972). *From Cohomology in Physics to q-convective Analysis*. ;
2. Akhobadze, M., Shalamberidze, I. (2019). Web platform for “Smart City” data collection and analytics. *Economia argoalimentare/Food Economy*, 21(3), 847-854 pp.;
3. Akhobadze, M., Kurtskhalia, E. (2021). Fuzzy Relationships in an Urban System. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 15(1).;
4. Akhobadze, M. (2021). *Mathematical modeling of macrosystems (based on the principle of entropy maximization)*. p. 206 (In Georgian);
5. Akhobadze, M., Kurtskhalia, E., Mesablishvili, B. (2020). *Complex, structural analysis and management of macrosystems*. p. 142 (In Georgian);
6. Akhobadze, M., Kurtskhalia, E. (2022). Mathematical model of urban planning for sustainable development and reconstruction of the city; *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 16(1).;
7. Zakharkin, I., (2016). *Voronoi Diagram and Its Applications*. Retrieved from: [habr.com: https://habr.com/ru/post/309252/](https://habr.com/ru/post/309252/) (In Russian)

UDC 71

SCOPUS CODE 1801

<https://doi.org/10.36073/1512-0996-2022-4-46-54>

For Optimal Planning and Management of the Urban System

- Nino Imnadze** Department of Architectural Planning and Urbanization, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.
E-mail: n.imnadze@gtu.ge
- Elguja Kurtskhalia** Department of Interdisciplinary Informatics, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 77, M. Kostava str.
E-mail: e.kurtskhalia@gtu.ge
- Otar Mchedlishvili** Department of Architectural Planning and Urbanization, Georgian Technical University, Georgia, 0160, Tbilisi, 68^a, M. Kostava str.
E-mail: otar.mtchedlishvili@gmail.com

Reviewers:

M. Akhobadze, Professor, Faculty of Informatics and Control Systems, GTU

E-mail: m.akhobadze@gtu.ge

T. Chanturia, Professor, Faculty of Architecture, Urban Planning and Design, GTU

E-mail: chanturiatamar06@gtu.ge

Abstract. Mathematical modeling of urban processes, system planning and land management are very typical problems. The solution of these problems according to the traditional method is carried out according to the subjectively chosen method. In this case, a number of questions and data are usually ignored or corrected. Which leads to the disintegration of the structural unity of the urban system. In this paper, a new method and algorithm has been developed to identify urban *inconsistencies* – both in terms of urban planning and socio-economic issues that are associated with urban planning and management.

Keywords: modeling; urban planning; Voronoi diagram.

განხილვის თარიღი 23.05.2022

შემოსვლის თარიღი 03.06.2022

ხელმოწერილია დასაბეჭდად 16.12.2022